

Efecto del estrés calórico sobre la sanidad de la ubre en bovinos lecheros

Effect of heat stress on udder health in dairy cattle

Melisa Barbosa Arias¹, Claudia Yisel Rodríguez Cardona¹, Juan Carlos Echeverry
López²

1 Programa de Medicina Veterinaria y Zootecnia. Universidad Tecnológica de Pereira.

2 Docente Programa de Medicina Veterinaria y Zootecnia. Universidad Tecnológica de Pereira.

Resumen

El incremento del calor debido a verano en países con estaciones y al calentamiento global, genera un estrés que repercute en el desempeño de los animales desde el punto de vista productivo y reproductivo. El calentamiento global va a presentar un incremento en las próximas décadas, lo que genera cambios en los sistemas de producción bovina para mitigar este efecto. La ubre de las vacas lecheras se ve afectada tanto a nivel de producción láctea, como a nivel celular, generando disminución de las células de los alvéolos. También se puede afectar la producción de la descendencia dependiendo de la etapa de gestación donde el bovino sea afectado por el estrés calórico. Existen opciones para adaptarse a estas condiciones tales como manipulación de la genética, medio ambiente, manejo y nutrición.

Palabras clave: lactancia, producción, ubre.

Abstract

The increase in heat due to summer in countries with seasons and global warming generates stress that affects the performance of animals from a productive and reproductive point of view. Global warming will present an increase in the coming decades, which generates changes in the bovine production systems to mitigate this effect. The udder of dairy cows is affected both at the milk production level and at the cellular level, causing a decrease in the cells of the alveoli. The production of the offspring can also be affected depending on the stage of gestation where the bovine

is affected by heat stress. There are options to adapt to these conditions such as manipulation of genetics, environment, management and nutrition.

Key words: lactation, production, udder.

Introducción

El efecto del estrés calórico sobre la sanidad de la ubre de los bovinos afecta de diferentes maneras los sistemas productivos en Colombia, sin embargo, la información existente esta diseminada o no disponible para los productores colombianos, lo que genera mal manejo de estos casos clínicos con consecuencias económicas para el productor.

El estrés calórico afecta principalmente la producción, aunque, hay estudios que indican que son muchos los factores que se ven afectados tales como la rumia, mortalidad, sistema inmune y reproducción (1–6).

El estrés calórico se presenta en regiones tropicales, en verano en países con estaciones y por calentamiento global. Las vacas de leche tienen una respuesta favorable al estrés calórico. Ellas mantienen un equilibrio hasta ciertos parámetros. Cuando la temperatura aumenta, este balance se deteriora, afectando parámetros productivos y reproductivos generando pérdidas a los ganaderos (7).

El estrés calórico afecta la producción de leche y genera cambios metabólicos a nivel de la ubre (8). Además, posee una gran importancia por este incremento de la temperatura ambiental que se va a presentar en las próximas décadas (9).

El conocimiento de las alteraciones ocasionadas por el estrés calórico en el ganado, lleva a tomar medidas sobre los pasos a seguir con respecto a su manejo. Estas medidas son necesarias porque afectan antes, durante y después del parto (10).

Acciones como estacionalidad de partos, polisombras y riego en la sala de espera del ordeño son medidas que se implementan para mejorar la adaptabilidad de los animales al trópico. El conocimiento de los puntos exactos afectados por el calor, permite tomar acciones específicas que puedan ser determinantes en el aumento de la producción y en una mayor rentabilidad.

El aumento de la temperatura ocasiona efectos adversos en el comportamiento productivo y reproductivo de los bovinos lecheros. También se genera sed y conductas de violencia, además que actualmente hay estudios que relacionan las altas temperaturas con frustración (bienestar animal), agresión y dolor (11).

Científicos han desarrollado un Índice de Adaptabilidad (IA), basándose en valores encontrados en la sangre de glucosa (GLU), colesterol (CHO), triglicéridos (TRI), proteína total (TP), creatinina (CRE), albúmina (ALB), urea (URE), aspartato aminotransferasa (AST) and alanina aminotransferasa (ALT) and concentraciones hormonales de (triyodotironina – T3 y tiroxina – T4). Así mismo la medición de valores fisiológicos como la temperatura rectal y frecuencia respiratoria, encontrándose diferencias en las razas estudiadas (12).

Se han realizado pruebas en Brasil, donde se miden parámetros para determinar el IA, encontrándose diferencias según raza y según épocas del año. Hay mayor estrés calórico en horas de la tarde que en la mañana y en primavera no tiende a presentarse los fuertes cambios que se presentan en verano. Estos estudios se realizaron con Angus y Simmental, ambos *Bos taurus* y de más difícil adaptación al trópico (13).

La temperatura está asociada a la humedad del medio ambiente. Cuando la humedad se incrementa, la temperatura afecta más al animal. Para medir ambos valores se creó un índice Temperatura Humedad (THI). Valores por encima de 74-79 THI afectan levemente a los animales. Valores por encima de 80 THI afectan drásticamente los bovinos (14).

Vacas en parto que tienen estrés calórico antes del parto, presentan menor desarrollo de la ubre y menor producción de leche que vacas que no tuvieron el estrés. Así mismo, se afecta el desarrollo de la placenta generando malnutrición en el feto y por consiguiente crías más pequeñas (15)(16). La disminución en la producción de leche es bien marcada y está muy documentada. Pero estudios recientes indican que se genera liberación de corticoides que generan

inmunosupresión y, por ende, vacas con bajas defensas más susceptibles a adquirir enfermedades (2,4,17).

Las altas temperaturas pueden ser manejadas desde diferentes aspectos. Adecuando estructuras para el manejo del calor. O trabajando con animales que se adapten más al calor, para lo cual se ha determinado que animales con menor tamaño sufren en menor escala los rigores del estrés calórico (18).

Incremento de temperatura está asociado a mortalidad en humanos. Estudios estadísticos han mostrado que a nivel de bovinos de leche, el comportamiento de la mortalidad asociada a altas temperaturas es similar al comportamiento presentado en humanos (3).

El estrés calórico afecta negativamente a los bovinos. Es por eso que siempre se está en la busca de medir bajo distintos conceptos el nivel de tolerancia de los animales para que estos posean el confort adecuado para su máxima productividad (19). Incremento en la temperatura y humedad ambiental ha mostrado caídas en la cantidad de la leche producida, lo mismo que en sus niveles de proteína y grasa (20).

Se considera los 20°C como el promedio de temperatura ambiental donde el animal se encuentra adaptado y es capaz de regular su temperatura interna sin problemas para su salud. De 25°C a 27°C son considerados como los límites superiores donde el animal sale de su zona de confort y empieza a presentar problemas en mantener su homeostasis. El centro de regulación de temperatura se encuentra en el hipotálamo el cual recibe la información especialmente de la piel. Existen muchos estudios que buscan medir la temperatura corporal de los bovinos para determinar en qué momento se presentan alteraciones de la salud del animal (21).

La afectación de la salud de la ubre es de causa multifactorial. Existen diferentes motivos que llevan a lesiones de la ubre y mastitis tales como prácticas de manejo, técnicas de ordeño, agentes infecciosos, duración del período seco, genética, edad, número de partos, raza y condiciones medio ambientales (22,23).

El incremento en la temperatura y humedad ambiental, lleva al aumento de patógenos en la ubre. Estudios realizados en cinco lecherías en Alemania, analizando variables como número de parto, agente patógeno, células somáticas y el índice THI (Temperature-humidity index) mostraron que el estrés por calor influye en la salud de la ubre. Los mecanismos que generan este efecto siguen siendo especulativos, pero se orientan a cantidad de leche producida, mejores condiciones de crecimiento bacteriano debido a altas temperaturas y factores inmunológicos (24).

También, estudios realizados en ganaderías en Wisconsin, U.S.A., presentaron alteraciones en la salud de la ubre debido al incremento de la temperatura ambiental por causa del verano. Además, este aumento de la temperatura influyó en el desempeño de los animales y la aparición de otras patologías (25).

El objetivo del presente trabajo fue realizar una revisión sobre los efectos que produce el estrés calórico en la sanidad de la ubre en bovinos de leche.

Materiales y métodos

Para la recopilación de la información se investigaron bases de datos como Scielo, Science Direct, Scopus, Google Académico utilizando palabras claves, criterios de inclusión como reportes del 2010 hasta la fecha actual y artículos de todos los países.

Se tuvieron en cuenta variables como raza, edad, número de partos y condiciones medioambientales.

Resultados y discusión

En condiciones normales, las vacas en producción necesitan disipar un calor producto del metabolismo normal. En condiciones de estrés calórico, esta acción debe incrementarse. Elevadas temperaturas más una alta humedad, hace que las vacas no tengan la misma eficiencia para disipar este calor. En compensación, el consumo de forraje disminuye lo cual afecta la producción de leche (26). También se observa afectación a nivel reproductivo. Estas alteraciones a nivel productivo y

reproductivo se deben principalmente a la disminución de la ingesta de alimento, reducción de la rumia y del proceso de absorción de nutrientes y el incremento de los requerimientos para el mantenimiento (27,28).

La actividad de los animales bajo estrés calórico también se ve afectada. Esta actividad se mide en número de pasos. Son más sensibles los animales en producción más jóvenes y los animales en una etapa tardía de la lactancia (29).

Una de los primeros cambios que se presentan a nivel de vacas lecheras, es la adaptación del tejido adiposo al estrés calórico. El estrés por calor provoca respuestas relacionadas con el estrés, como la respuesta al estrés oxidativo mediada por Nrf2 y la respuesta de fase aguda en los tejidos adiposos (28).

Alteraciones de la ubre se incrementan también cuando se asocia a la duración del período seco. Vacas con 4 semanas de período seco tuvieron una incidencia de mastitis del 26 % contra un 9 % a las que tuvieron un período seco de 8 semanas (23). Vacas sometidas a estrés calórico, han presentado alteración en el sistema inmunológico, que las hace más susceptibles a infecciones de la ubre (30).

Se ha demostrado, que el estrés calórico en el período periconcepcional, puede afectar la futura producción de la descendencia. Se cree que es un mecanismo de adaptación del embrión al calor extremo. Por esta razón, muchas haciendas realizan programación de partos para aumentar la producción y evitar este efecto (31). También se ha demostrado alteraciones en la productividad de la descendencia, cuando el estrés calórico se presenta en la etapa tardía de la gestación. Este tipo de estrés calórico en esta etapa, genera retardo en la involución de la glándula mamaria en el momento del secado, afectando la proliferación de células de los alvéolos antes del parto (32,33).

La disminución en la producción de leche debido al estrés calórico puede estar entre el 25 % y el 40 %. Parte de esta pérdida es debida a la disminución de la ingesta de alimento, pero la otra parte debido al incremento de apoptosis de las células de los alvéolos, lo que lleva, a menor cantidad de células produciendo leche. Así mismo, estas células muestran una mayor expresión génica de las proteínas de choque por

calor. Es un sistema de protección frente a la agregación y degradación de las proteínas. Además, la unión entre las células alveolares se mantiene, debido a un esfuerzo extra que se da por incremento de la síntesis de proteína (32).

Después de evaluar numerosas condiciones como masa corporal, días en leche, producción diaria de la leche y temperatura de la leche, se puede determinar el momento en que el estrés calórico empieza a afectar al animal. También se utilizan valores fisiológicos como frecuencia respiratoria y temperatura corporal. De esta manera se empieza el plan de enfriamiento del animal para lograr un mejor desempeño (34,35).

La asistencia técnica es indispensable en la solución de los problemas de ubre. Aunque diferentes estudios han demostrado que solo el 44.3 % de los ganaderos, cumplen en su totalidad las recomendaciones de los veterinarios. Sin embargo, la asistencia a los hatos disminuye notablemente los problemas de mastitis en las vacas (22). Además, la presencia de mastitis genera un mayor intervalo parto concepción y una mayor cantidad de servicios por concepción (36).

El color del pelaje se ha estudiado para determinar la adaptabilidad de los animales al estrés calórico. Vacas holstein más blancas contra vacas holstein más negras fueron comparadas para determinar su resistencia al calor. No hubo diferencia en parámetros reproductivos. Sin embargo, las blancas produjeron mayor cantidad de leche (37).

Los sistemas silvopastoriles son una de las principales y mejores opciones para mitigar el efecto del estrés calórico. La carga térmica puede disminuir hasta en un 22 % comparado con pastoreo sin árboles. Se presenta un mayor confort térmico por parte de los animales debido al microclima especial que se presenta en estas condiciones y a la disminución de la radiación solar (38,39).

Una de las soluciones para enfrentar los efectos del estrés calórico es suplementar las vacas con productos como ensilaje de maíz. Se ha reemplazado el maíz con ensilajes de otros alimentos como la granada logrando aumentar la producción en vacas bajo condiciones de estrés calórico (40). La suplementación con

oligoelementos y vitaminas, también se vio reflejado en el aumento de la producción en vacas afectadas por estrés calórico (41).

Se realizó un estudio suplementando con extracto de cítricos a unas vacas lecheras de alta producción y sometidas a estrés calórico. No hubo diferencias con respecto al grupo testigo en relación a la producción de leche y los porcentajes de grasa y proteína. Sin embargo, se observó disminución del número de células somáticas, indicando que este método ayuda a mejorar la salud de la ubre (42). La suplementación con cromo, se ha utilizado para combatir los efectos del estrés calórico. Se aumenta la producción, sin afectar la calidad composicional de la leche (43,44).

Estudios de suplementación con niacina, han mostrado diferentes resultados en cuanto a producción de leche y componentes bajo los efectos del estrés calórico (45). También se han realizado estudios con la adición de electrolitos, osmolitos y compuestos energéticos pero la diferencia en la producción de leche con respecto al grupo testigo no es representativa (46).

Biomarcadores simples se han utilizado para determinar la afectación de los bovinos debido al estrés calórico. Se necesitan más estudios para utilizar estos biomarcadores de una manera práctica para determinar el nivel de alteración fisiológica generada por el estrés calórico (47).

Existen diferencias genéticas entre las diferentes razas de ganado bovino que hacen que unos animales sean más resistentes al calor que otros. Hay mutaciones que generan resistencia al calor. Identificar estas mutaciones pueden ser una solución a futuro para producir animales resistentes al estrés calórico (48).

Conclusiones y recomendaciones

El aumento de la temperatura a nivel global ha llevado a presentación del estrés calórico debido a que los animales no están adaptados para estas condiciones.

A nivel de la ubre se observa reducción de la producción por disminución de la ingesta y por alteración de las células de los alvéolos mamarios. También se presentan cambios fisiológicos que modifican el comportamiento del organismo,

llevando a que por motivos de adaptación se presente disminución de la producción y presencia de mastitis.

Se deben generar condiciones que permitan que los animales se adapten o que estén en ambientes específicos que permitan que su habilidad productiva no se vea alterada.

Se recomiendan estudios de opciones que permitan mitigar el efecto de este cambio climático y así se vean, lo menos afectados posibles, los parámetros productivos y reproductivos.

Bibliografía

1. Ghizzi LG, Del Valle TA, Takiya CS, da Silva GG, Zilio EMC, Grigoletto NTS, et al. Effects of functional oils on ruminal fermentation, rectal temperature, and performance of dairy cows under high temperature humidity index environment. *Anim Feed Sci Technol* [Internet]. 2018;246(October):158–66. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2018.10.009>
2. Bagath M, Krishnan G, Devaraj C, Rashamol VP, Pragna P, Lees AM, et al. The impact of heat stress on the immune system in dairy cattle: A review. *Res Vet Sci* [Internet]. 2019;126(July):94–102. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.rvsc.2019.08.011>
3. Cox B, Gasparrini A, Catry B, Delcloo A, Bijmens E, Vangronsveld J, et al. Mortality related to cold and heat. What do we learn from dairy cattle? *Environ Res* [Internet]. 2016;149:231–8. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.envres.2016.05.018>
4. Laporta J, Ferreira FC, Ouellet V, Dado-Senn B, Almeida AK, De Vries A, et al. Late-gestation heat stress impairs daughter and granddaughter lifetime performance. *J Dairy Sci* [Internet]. 2020;103(8):7555–68. Available from: <http://dx.doi.org/10.3168/jds.2020-18154>
5. Maia GG, Siqueira LGB, Vasconcelos CO de P, Tomich TR, Camargo LS de

A, Rodrigues JPP, et al. Effects of heat stress on rumination activity in Holstein-Gyr dry cows. *Livest Sci* [Internet]. 2020;239(May 2019):104092. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2020.104092>

6. Roth Z. Reproductive physiology and endocrinology responses of cows exposed to environmental heat stress - Experiences from the past and lessons for the present. *Theriogenology* [Internet]. 2020;155:150–6. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2020.05.040>
7. Tao S, Orellana Rivas RM, Marins TN, Chen YC, Gao J, Bernard JK. Impact of heat stress on lactational performance of dairy cows. *Theriogenology* [Internet]. 2020;150:437–44. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2020.02.048>
8. FAN C yun, SU D, TIAN H, HU R ting, RAN L, YANG Y, et al. Milk production and composition and metabolic alterations in the mammary gland of heat-stressed lactating dairy cows. *J Integr Agric*. 2019;18(12):2844–53.
9. Ji B, Banhazi T, Perano K, Ghahramani A, Bowtell L, Wang C, et al. A review of measuring, assessing and mitigating heat stress in dairy cattle. *Biosyst Eng* [Internet]. 2020;199:4–26. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2020.07.009>
10. Fabris TF, Laporta J, Skibieli AL, Corra FN, Senn BD, Wohlgemuth SE, et al. Effect of heat stress during early, late, and entire dry period on dairy cattle. *J Dairy Sci* [Internet]. 2019;102(6):5647–56. Available from: <http://dx.doi.org/10.3168/jds.2018-15721>
11. Polsky L, von Keyserlingk MAG. Invited review: Effects of heat stress on dairy cattle welfare. *J Dairy Sci* [Internet]. 2017;100(11):8645–57. Available from: <http://dx.doi.org/10.3168/jds.2017-12651>
12. de Vasconcelos AM, de Carvalho JF, de Albuquerque CC, Façanha DAE, Vega WHO, Silveira RMF, et al. Development of an animal adaptability

index: Application for dairy cows. J Therm Biol. 2020;89(June 2019).

13. Baena MM, Costa AC, Vieira GR, Rocha R de FB, Ribeiro ARB, Ibelli AMG, et al. Heat tolerance responses in a Bos taurus cattle herd raised in a Brazilian climate. J Therm Biol [Internet]. 2019;81(February):162–9. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.jtherbio.2019.02.017>
14. Jeelani R, Konwar D, Khan A, Kumar D, Chakraborty D, Brahma B. Reassessment of temperature-humidity index for measuring heat stress in crossbred dairy cattle of a sub-tropical region. J Therm Biol [Internet]. 2019;82(November 2018):99–106. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.jtherbio.2019.03.017>
15. Tao S, Dahl GE. Invited review: Heat stress effects during late gestation on dry cows and their calves. J Dairy Sci [Internet]. 2013;96(7):4079–93. Available from: <http://dx.doi.org/10.3168/jds.2012-6278>
16. Tao S, Monteiro APA, Thompson IM, Hayen MJ, Dahl GE. Effect of late-gestation maternal heat stress on growth and immune function of dairy calves. J Dairy Sci [Internet]. 2012;95(12):7128–36. Available from: <http://dx.doi.org/10.3168/jds.2012-5697>
17. Dado-Senn B, Laporta J, Dahl GE. Carry over effects of late-gestational heat stress on dairy cattle progeny. Theriogenology [Internet]. 2020;154:17–23. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2020.05.012>
18. Berman A, Horovitz T. Radiant heat loss, an unexploited path for heat stress reduction in shaded cattle. J Dairy Sci [Internet]. 2012;95(6):3021–31. Available from: <http://dx.doi.org/10.3168/jds.2011-4844>
19. Wang X, Gao H, Gebremedhin KG, Bjerg BS, Van Os J, Tucker CB, et al. A predictive model of equivalent temperature index for dairy cattle (ETIC). J Therm Biol. 2018;76(March):165–70.
20. Amamou H, Beckers Y, Mahouachi M, Hammami H. Thermotolerance

indicators related to production and physiological responses to heat stress of holstein cows. *J Therm Biol* [Internet]. 2019;82(February):90–8. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.jtherbio.2019.03.016>

21. Godyń D, Herbut P, Angrecka S. Measurements of peripheral and deep body temperature in cattle – A review. *J Therm Biol*. 2019;79(November 2018):42–9.
22. Tschopp A, Reist M, Kaufmann T, Bodmer M, Kretzschmar L, Heiniger D, et al. A multiarm randomized field trial evaluating strategies for udder health improvement in Swiss dairy herds. *J Dairy Sci* [Internet]. 2015;98(2):840–60. Available from: <http://dx.doi.org/10.3168/jds.2014-8053>
23. Andrée O'Hara E, Båge R, Emanuelson U, Holtenius K. Effects of dry period length on metabolic status, fertility, udder health, and colostrum production in 2 cow breeds. *J Dairy Sci* [Internet]. 2019;102(1):595–606. Available from: <http://dx.doi.org/10.3168/jds.2018-14873>
24. Hamel J, Zhang Y, Wente N, Krömker V. Heat stress and cow factors affect bacteria shedding pattern from naturally infected mammary gland quarters in dairy cattle. *J Dairy Sci*. 2021;104(1):786–94.
25. Skevas T, Cabrera VE. Measuring farmers' dynamic technical and udder health management inefficiencies: The case of Wisconsin dairy farms. *J Dairy Sci* [Internet]. 2020;103(12):12117–27. Available from: <http://dx.doi.org/10.3168/jds.2020-18656>
26. Ekine-Dzivenu CC, Mrode R, Oyieng E, Komwihangilo D, Lyatuu E, Msuta G, et al. Evaluating the impact of heat stress as measured by temperature-humidity index (THI) on test-day milk yield of small holder dairy cattle in a sub-Saharan African climate. *Livest Sci* [Internet]. 2020;242(January):104314. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2020.104314>
27. Müschner-Siemens T, Hoffmann G, Ammon C, Amon T. Daily rumination

time of lactating dairy cows under heat stress conditions. *J Therm Biol* [Internet]. 2020;88(December 2019):102484. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.jtherbio.2019.102484>

28. Zachut M, Kra G, Livshitz L, Portnick Y, Yakoby S, Friedlander G, et al. Seasonal heat stress affects adipose tissue proteome toward enrichment of the Nrf2-mediated oxidative stress response in late-pregnant dairy cows. *J Proteomics* [Internet]. 2017;158:52–61. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jprot.2017.02.011>
29. Heinicke J, Ibscher S, Belik V, Amon T. Cow individual activity response to the accumulation of heat load duration. *J Therm Biol* [Internet]. 2019;82(October 2018):23–32. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.jtherbio.2019.03.011>
30. Min L, Cheng J, Zhao S, Tian H, Zhang Y, Li S, et al. Plasma-based proteomics reveals immune response, complement and coagulation cascades pathway shifts in heat-stressed lactating dairy cows. *J Proteomics* [Internet]. 2016;146:99–108. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jprot.2016.06.008>
31. Rhoads ML. Effects of periconceptional heat stress on primiparous and multiparous daughters of Holstein dairy cows. *Theriogenology* [Internet]. 2020;150:458–63. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2020.03.015>
32. Tao S, Orellana RM, Weng X, Marins TN, Dahl GE, Bernard JK. Symposium review: The influences of heat stress on bovine mammary gland function1. *J Dairy Sci* [Internet]. 2018;101(6):5642–54. Available from: <http://dx.doi.org/10.3168/jds.2017-13727>
33. Ouellet V, Laporta J, Dahl GE. Late gestation heat stress in dairy cows: Effects on dam and daughter. *Theriogenology* [Internet]. 2020;150:471–9. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2020.03.011>

34. Hoffmann G, Herbut P, Pinto S, Heinicke J, Kuhla B, Amon T. Animal-related, non-invasive indicators for determining heat stress in dairy cows. *Biosyst Eng.* 2019;9.
35. Ji B, Banhazi T, Ghahramani A, Bowtell L, Wang C, Li B. Modelling of heat stress in a robotic dairy farm. Part 2: Identifying the specific thresholds with production factors. *Biosyst Eng [Internet].* 2019;199:43–57. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2019.11.005>
36. Villa-Arcila NA, Sanchez J, Ratto MH, Rodriguez-Lecompte JC, Duque-Madrid PC, Sanchez-Arias S, et al. The association between subclinical mastitis around calving and reproductive performance in grazing dairy cows. *Anim Reprod Sci [Internet].* 2017;185(August):109–17. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.anireprosci.2017.08.010>
37. Anzures-Olvera F, Véliz FG, de Santiago A, García JE, Mellado J, Macías-Cruz U, et al. The impact of hair coat color on physiological variables, reproductive performance and milk yield of Holstein cows in a hot environment. *J Therm Biol [Internet].* 2019;81(January):82–8. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.jtherbio.2019.02.020>
38. Gomes FJ, Pedreira BC, Santos PM, Bosi C, Lulu J, Pedreira CGS. Microclimate effects on canopy characteristics of shaded palisadegrass pastures in a silvopastoral system in the Amazon biome of central Brazil. *Eur J Agron [Internet].* 2020;115(September 2019):126029. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.eja.2020.126029>
39. Pezzopane JRM, Nicodemo MLF, Bosi C, Garcia AR, Lulu J. Animal thermal comfort indexes in silvopastoral systems with different tree arrangements. *J Therm Biol [Internet].* 2019;79(November 2018):103–11. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.jtherbio.2018.12.015>
40. Khorsandi S, Riasi A, Khorvash M, Hashemzadeh F. Nutrients digestibility, metabolic parameters and milk production in postpartum Holstein cows fed

pomegranate (*Punica granatum* L.) by-products silage under heat stress condition. *Anim Feed Sci Technol* [Internet]. 2019;255(June):114213. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2019.114213>

41. Khorsandi S, Riasi A, Khorvash M, Mahyari SA, Mohammadpanah F, Ahmadi F. Lactation and reproductive performance of high producing dairy cows given sustained-release multi-trace element/vitamin ruminal bolus under heat stress condition. *Livest Sci* [Internet]. 2016;187:146–50. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.livsci.2016.03.008>
42. Havlin JM, Robinson PH. Intake, milk production and heat stress of dairy cows fed a citrus extract during summer heat. *Anim Feed Sci Technol* [Internet]. 2015;208:23–32. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2015.06.022>
43. Shan Q, Ma FT, Jin YH, Gao D, Li HY, Sun P. Chromium yeast alleviates heat stress by improving antioxidant and immune function in Holstein mid-lactation dairy cows. *Anim Feed Sci Technol*. 2020;269(August).
44. Al-Saiady MY, Al-Shaikh MA, Al-Mufarrej SI, Al-Showeimi TA, Mogawer HH, Dirrar A. Effect of chelated chromium supplementation on lactation performance and blood parameters of Holstein cows under heat stress. *Anim Feed Sci Technol*. 2004;117(3–4):223–33.
45. Zimbelman RB, Collier RJ, Bilby TR. Effects of utilizing rumen protected niacin on core body temperature as well as milk production and composition in lactating dairy cows during heat stress. *Anim Feed Sci Technol* [Internet]. 2013;180(1–4):26–33. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2013.01.005>
46. Al-Qaisi M, Horst EA, Kvidera SK, McCarthy CS, Mayorga EJ, Abeyta MA, et al. Effects of dietary electrolytes, osmolytes, and energetic compounds on body temperature indices in heat-stressed lactating cows. *Res Vet Sci* [Internet]. 2020;132(April):42–8. Available from:

<https://doi.org/10.1016/j.rvsc.2020.05.012>

47. Tian H, Wang W, Zheng N, Cheng J, Li S, Zhang Y, et al. Identification of diagnostic biomarkers and metabolic pathway shifts of heat-stressed lactating dairy cows. *J Proteomics* [Internet]. 2015;125:17–28. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jprot.2015.04.014>
48. Hansen PJ. Prospects for gene introgression or gene editing as a strategy for reduction of the impact of heat stress on production and reproduction in cattle. *Theriogenology* [Internet]. 2020;154:190–202. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2020.05.010>